

Implementasi *Business Process Reengineering* Pada UMKM Melalui Perancangan Alat Pengering Cerdas Menggunakan Metode *Pahl–Beitz*

Mohammad Riza Radyanto¹, Firman Ardiansyah Ekoanindiyo², Antoni Yohanes³, Antono Adhi⁴, Enty Nur Hayati⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Informasi dan Industri, Universitas Stikubank
Jl. Tri Lomba Juang No 1 Mugas Semarang
Email: rizaradyanto@edu.unisbank.ac.id

ABSTRAK

Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM) pengolahan hasil pertanian umumnya masih bergantung pada proses pengeringan konvensional matahari yang menyebabkan waktu produksi panjang, kualitas produk tidak seragam, serta tingginya risiko kontaminasi. Berbagai penelitian sebelumnya telah mengembangkan teknologi pengering berbasis IoT maupun desain pengering berenergi efisien. Namun, belum ada penelitian yang secara komprehensif mengintegrasikan pendekatan *Business Process Reengineering* (BPR) dengan metode perancangan sistematis *Pahl–Beitz* untuk menghasilkan teknologi pengering cerdas yang sekaligus mentransformasi proses bisnis UMKM. Gap ini menunjukkan perlunya pendekatan yang tidak hanya berorientasi pada inovasi teknis, tetapi juga pada perbaikan proses produksi secara menyeluruh. Penelitian ini bertujuan menerapkan BPR untuk memetakan dan merekayasa ulang proses pengeringan UMKM, kemudian merancang prototipe alat pengering cerdas berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan metode *Pahl–Beitz*. Tahapan penelitian meliputi identifikasi kebutuhan pengguna, desain konseptual, desain perwujudan, desain detail, pengembangan sistem IoT, dan pengujian prototipe. Hasil menunjukkan penurunan waktu pengeringan dari 48–72 jam menjadi 7,5 jam, kadar air akhir 11,8%, dan efisiensi termal 62%. Secara bisnis, produktivitas meningkat 54%, biaya operasional turun 40%, dan produk akhir menurun dari 15% menjadi 3%. Penelitian ini menegaskan bahwa integrasi BPR dan *Pahl–Beitz* efektif mendorong peningkatan kinerja teknis sekaligus transformasi proses bisnis UMKM secara signifikan.

Kata kunci: *Business Process Reengineering, Internet of Things*, pengering cerdas, UMKM, Metode *Pahl–Beitz*

ABSTRACT

Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs) in agricultural product processing commonly rely on conventional sun-drying methods, which result in prolonged production times, inconsistent product quality, and increased risks of contamination. Although prior studies have explored IoT-based drying technologies and various energy-efficient dryer designs, there remains no comprehensive integration of Business Process Reengineering (BPR) with the Pahl–Beitz systematic design methodology to develop smart drying solutions that concurrently transform MSME production processes. This gap underscores the need for an approach that advances both technical innovation and end-to-end process improvement. This study applies BPR to analyze and reengineer MSMEs drying workflows and subsequently develops an Internet of Things (IoT)–based smart dryer prototype using the Pahl–Beitz method. The research framework encompasses user requirement identification, conceptual and embodiment design, detailed design, IoT system development, and prototype testing. Experimental results indicate a reduction in drying time from 48–72 hours to 7.5 hours, attainment of 11.8% final moisture content, and a thermal efficiency of 62%. From a business standpoint, productivity increased by 54%, operational costs decreased by 40%, and product defects declined from 15% to 3%. These findings demonstrate that integrating BPR with Pahl–Beitz effectively enhances both technical performance and business process transformation within MSMEs

Keywords: *Business Process Reengineering, IoT, smart dryer, MSMEs, Pahl–Beitz Method*

Pendahuluan

Kondisi UMKM di Indonesia

UMKM sering kali menghadapi keterbatasan dalam hal sumber daya material dan kapasitas infrastruktur yang berdampak pada efisiensi produksi dan profitabilitas mereka. Hal ini juga membatasi kemampuan mereka untuk mengadopsi teknologi pengeringan yang lebih efisien dan modern [1]. Sebagian besar proses pengolahan dan pengawetan bahan pangan oleh UMKM di Indonesia, masih menggunakan metode pemanasan atau

pengeringan konvensional [2] Proses ini sangat bergantung pada kondisi lingkungan dan cuaca, sehingga waktu pengeringan menjadi tidak konsisten dan kualitas produk sulit dijaga secara stabil. Oleh karena itu, inovasi dalam proses pengolahan sangat diperlukan agar kualitas produk tetap terjaga tanpa kehilangan kandungan nutrisi penting [3].

Peran Business Process Reengineering

Sering disingkat BPR atau Rekayasa Ulang Proses bisnis merupakan pendekatan manajemen yang berfokus pada perancangan ulang secara menyeluruh proses kerja dalam suatu organisasi dengan tujuan mencapai peningkatan kinerja yang signifikan, baik dalam hal biaya, kualitas, layanan, maupun kecepatan. BPR membantu UMKM dalam mengoptimalkan proses bisnis mereka, sehingga proses menjadi lebih efisien dan berkualitas tinggi [4]. Menurut [5], BPR menyediakan landasan bagi pertumbuhan perusahaan dan inovasi organisasi, termasuk dalam hal adopsi teknologi baru. Penggunaan solusi berbasis IoT telah terbukti efektif dalam lingkungan laboratorium dan produksi UMKM, memberikan wawasan proses yang berharga dan mendukung pengembangan proses bisnis yang lebih efisien [4].

Perkembangan Pengereng Berbasis IOT

Dalam konteks industri pengolahan hasil pertanian, BPR dapat diaplikasikan untuk mengubah proses pengeringan konvensional yang padat tenaga kerja menjadi proses modern yang terotomatisasi. Penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam proses pengeringan hasil pertanian telah membawa perubahan signifikan dibandingkan metode konvensional. Sistem pengeringan cerdas berbasis IoT memungkinkan akuisisi parameter terdistribusi seperti suhu, kelembapan, dan aliran udara melalui jaringan sensor multi-sumber, serta pengoptimalan proses secara real-time [6],[7]. Menurut [8], teknologi rotary dryer yang terintegrasi dengan platform IoT meningkatkan kualitas produk dan nilai jual, serta memungkinkan pemantauan *real-time* untuk memastikan produk memenuhi kriteria penyimpanan jangka panjang. Namun, efektivitas biaya dan pemeliharaan tetap menjadi pertimbangan penting. Pemanfaatan alat pengering cerdas berbasis IoT bagi kelompok usaha mewakili implementasi BPR yang komprehensif pada sektor pengolahan hasil pertanian [4],[9] melakukan penelitian bagaimana implementasi alat pengering cerdas smart dehydrator untuk mengeringkan sayuran menjadi snack telah mengubah proses kerja dari model pengeringan konvensional berbasis tenaga kerja intensif menjadi sistem terotomatisasi. Transformasi ini tidak hanya melibatkan adopsi teknologi baru, tetapi juga reorganisasi struktur kerja, realokasi sumber daya manusia ke aktivitas bernilai tambah lebih tinggi, dan pemberdayaan operator untuk mengambil keputusan berdasarkan data *real-time* yang diperoleh dari sistem IoT [10]. Penelitian oleh [11] menghasilkan prototipe pengering dengan pendekatan IoT yang dilengkapi fitur monitoring dan kontrol jarak jauh. Sistem ini dapat memantau suhu dan parameter energi dari jarak jauh melalui internet dengan interval pengiriman data setiap 2 menit. [12] mengembangkan sistem pengering hybrid yang mengintegrasikan tenaga surya dan biomassa dengan kontrol cerdas berbasis IoT. Inovasi ini mampu beradaptasi dengan kondisi cuaca dan memaksimalkan efisiensi energi dengan beralih otomatis antara sumber energi berdasarkan ketersediaan sinar matahari.

Metodologi Pahl dan Beitz

Metode ini merupakan salah satu pendekatan paling dikenal dalam rekayasa desain teknik, yang menekankan pemodelan fungsional dengan memecah fungsi keseluruhan produk menjadi sub-fungsi yang beroperasi pada tiga jenis aliran: energi, material, dan sinyal [13], [14]. Metodologi ini merupakan salah satu pendekatan paling dikenal dan diajarkan secara luas dalam rekayasa desain teknik [15]. Metode ini sangat berpengaruh dalam mendefinisikan pedoman desain teknik. Metodologi ini juga diakui sebagai salah satu model deskriptif paling terkenal dalam proses desain teknik [13].

Pendekatan terintegrasi dalam perancangan alat pengering cerdas dikembangkan oleh [9] dengan menerapkan pendekatan *systematic design* dari *Pahl dan Beitz* pada pengering bahan makanan. Penelitian ini menghasilkan prototype dengan efisiensi termal yang ditingkatkan melalui aliran udara yang dioptimalkan dan penggunaan material penyimpan panas. Sistem ini dilengkapi dengan kemampuan monitoring jarak jauh dan pemberitahuan otomatis ketika proses pengeringan selesai.

Gap Penelitian

Namun, berdasarkan tinjauan literatur tersebut, belum ditemukan penelitian yang secara khusus mengintegrasikan BPR dengan Metodologi *Pahl–Beitz* untuk merancang teknologi pengering cerdas berbasis IoT pada UMKM, sehingga membentuk *research gap* yang ingin dijawab penelitian ini.

Tujuan Penelitian

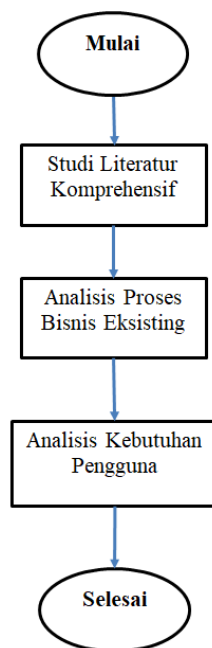
Berdasarkan tinjauan literatur di atas, terdapat peluang signifikan untuk mengembangkan alat pengering cerdas dengan mengintegrasikan metodologi *Pahl dan Beitz* dalam proses rekayasa ulang. Pendekatan ini memungkinkan perancangan sistematis yang mempertimbangkan aspek fungsional, ekonomi, dan keberlanjutan,

serta mengakomodasi kebutuhan spesifik pengguna dan karakteristik produk yang dikeringkan [16]. Berikut tujuan penelitian ini yaitu : (1) menerapkan pendekatan BPR untuk menganalisis dan merencanakan ulang proses pengeringan produk UMKM, (2) merancang prototipe alat pengering cerdas berbasis IoT menggunakan metode Pahl–Beitz, serta (3) mengevaluasi kinerja teknis dan dampak bisnis alat terhadap produktivitas dan efisiensi UMKM

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan metode kualitatif untuk analisis kebutuhan dan rekayasa ulang proses bisnis, serta metode kuantitatif untuk perancangan teknis dan evaluasi kinerja alat pengering cerdas berbasis IoT. Kombinasi kedua pendekatan ini sesuai dengan karakter penelitian berbasis Metode Pahl–Beitz yang membutuhkan data kebutuhan pengguna (*user requirement*) dan data teknis untuk pemilihan desain terbaik [17] Metodologi penelitian terdiri dari dua tahapan utama yaitu :

Tahapan Pertama: Analisis Kebutuhan dan Studi Literatur yang terdiri dari 3 langkah dan digambarkan dengan diagram alir pada Gambar 1 berikut ini :



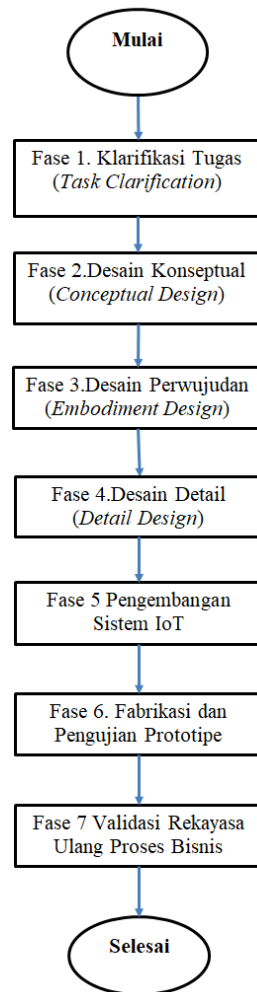
Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Pertama: Analisis Kebutuhan dan Studi Literatur

Langkah 1. Studi Literatur Komprehensif, untuk mengidentifikasi *state of the art*, gap penelitian, dan teknologi terkini dalam pengembangan alat pengering cerdas berbasis IoT

Langkah 2. Analisis Proses Bisnis Eksisting, untuk memahami proses bisnis saat ini pada UMKM dan mengidentifikasi peluang untuk rekayasa ulang proses bisnis

Langkah 3. Analisis Kebutuhan Pengguna, untuk menentukan spesifikasi teknis dan fungsional alat pengering cerdas melalui metode survei kuesioner untuk 10 UMKM, dan data yang dikumpulkan dianalisis

Tahapan Kedua : Perancangan dan pengembangan produk dengan metode Pahl dan Beitz. yang terdiri dari 7 fase dan digambarkan dengan diagram alir pada Gambar 2 berikut ini :



Gambar 2. Diagram Alir Tahapan Kedua: Perancangan dan Pengembangan Produk dengan Metode Pahl dan Beitz

Fase 1 . Klarifikasi Tugas (Task Clarification) , untuk merumuskan persyaratan dan spesifikasi teknis detail menggunakan metode penyusunan persyaratan dan spesifikasi teknis berdasarkan analisis kebutuhan pengguna

Fase 2. Desain Konseptual (Conceptual Design) , mengembangkan beberapa alternatif konsep desain alat pengering cerdas melalui function structure atau struktur fungsi dengan luaran 3 konsep desain alternatif

Fase 3. Desain Perwujudan (Embodiment Design) , untuk Mengembangkan layout dan konfigurasi komponen secara detail , dengan luaran ,model 3D

Fase 4. Desain Detail (Detail Design) , untuk Finalisasi desain dan dokumentasi untuk produksi dengan luaran spesifikasi komponen alat pengering cerdas

Fase 5. Pengembangan Sistem IoT , untuk mengembangkan komponen hardware dan software system cerdas dengan luaran aplikasi monitoring dan control berbasis *mobile*

Fase 6. Fabrikasi dan Pengujian Prototipe , melalui tahapan pembuatan dan evaluasi prototipe fisik alat pengering cerdas

Fase 7. Validasi Rekayasa Ulang Proses Bisnis , dengan memvalidasi efektivitas alat pengering cerdas dalam konteks rekayasa ulang proses bisnis melalui proses pengukuran kinerja dibanding target spesifikasi [15]

Hasil Dan Pembahasan

Dari 2 tahapan utama penelitian diperoleh hasil penelitian berdasarkan Metode *Pahl–Beitz*

Fase 1: Klarifikasi Tugas (*Task Clarification*) , dengan mengidentifikasi :

- a. **Kebutuhan utama (requirements)** meliputi : Waktu pengeringan ≤ 8 jam untuk produk dengan kadar air awal 60%; Kadar air akhir $\leq 12\%$. ; Kapasitas minimal 20 kg/siklus ; Suhu pengeringan terkontrol pada rentang 40–60°C ; Sumber energi utama *solar collector* dengan cadangan biomassa atau listrik; serta Pemantauan dan pengaturan berbasis IoT.

- b. **Keinginan tambahan (wishes)** meliputi : Desain modular untuk berbagai komoditas; Layar sentuh sebagai antarmuka control ; Sistem peringatan otomatis melalui ponsel ; Material *food grade* tahan korosi.
- c. **Batasan teknis meliputi** : Luas instalasi $\leq 5 \text{ m}^2$; biaya pembuatan prototipe $\leq \text{Rp } 15 \text{ juta.}$; dan umur pakai ≥ 5 tahun.

Dari hasil survei pada 10 pelaku UMKM dan kelompok tani, daftar kebutuhan ini menjadi *Requirement List* yang menjadi acuan desain.

Fase 2 : Desain Konseptual (Conceptual Design) , meliputi 2 struktur fungsi (*function structure*) yaitu fungsi utama dan fungsi turunan

- a. Fungsi utama: Mengurangi kadar air produk pertanian menjadi $\leq 12\%$ secara efisien.
- b. Fungsi turunan meliputi : Mengubah energi surya menjadi panas; Memanaskan ruang pengering ; Mengatur sirkulasi udara ; Mengukur suhu dan kelembaban; Mengatur parameter secara otomatis ;dan Menyajikan data dan kontrol kepada pengguna.

Alternatif Prinsip Kerja

Perbedaan utama antar jenis kolektor panas adalah: kolektor plat datar memiliki efisiensi konversi panas tertinggi dan baik pada radiasi rendah, sedangkan kolektor tabung vakum lebih ekonomis namun efisiensinya lebih bergantung pada intensitas matahari. Panel surya + elemen pemanas memungkinkan kontrol suhu lebih stabil tetapi membutuhkan konsumsi listrik tambahan. Perbandingan dari beberapa alternative prinsip kerja dirangkum pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Prinsip Kerja dan Sub Fungsi

Sub-Fungsi	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Energi panas surya	Kolektor tabung vakum	Kolektor plat datar	Panel surya + elemen pemanas
Pemanas cadangan	Biomassa	Listrik – solar cell	Gas LPG
Sirkulasi udara	Kipas AC	Blower DC	Ventilasi alami
Sensor suhu/kelembaban	SHT31	DHT22	AM2305
Kontrol otomatis	ESP32	Arduino	Raspberry Pi
Tampilan data	Layar sentuh TFT	LCD 20x4	Aplikasi mobile IoT

Morphological Chart dan Kombinasi Konsep

Dari kombinasi alternatif diperoleh tiga konsep yaitu :

- a. **Konsep A:** Kolektor tabung vakum + pemanas biomassa + kipas AC + SHT31 + ESP32 + aplikasi mobile.
- b. **Konsep B:** Kolektor plat datar + pemanas listrik + blower DC + DHT22 + Arduino + LCD.
- c. **Konsep C:** Panel surya + elemen pemanas + blower DC + AM2305 + Raspberry Pi + layar sentuh TFT.

Seleksi Konsep (Weighted Scoring)

Kriteria seleksi: Efisiensi energi (30%), biaya pembuatan (25%), kemudahan servis (20%), kinerja pengeringan (15%), integrasi IoT (10%).

Tabel 2. Perhitungan Skor

Kriteria	Bobot	Konsep A	Skor A	Konsep B	Skor B	Konsep C	Skor C
Efisiensi energi	0.30	3	0.90	5	1.50	4	1.20
Biaya pembuatan	0.25	5	1.25	3	0.75	2	0.50
Kemudahan servis	0.20	4	0.80	3	0.60	3	0.60
Kinerja pengering	0.15	3	0.45	4	0.60	4	0.60
Integrasi IoT	0.10	3	0.30	4	0.40	5	0.50
Total Skor	1.00	3.70		3.85		3.40	

Hasil: **Konsep B** terpilih karena memiliki efisiensi energi tertinggi dan kinerja pengeringan yang baik meskipun biayanya lebih tinggi dari Konsep A.

Fase 3: Desain Perwujudan (Embodiment Design)

- a. Spesifikasi Teknis Awal yang dirinci pada Tabel 3 berikut :

Tabel 3. Spesifikasi Teknis Awal

Spesifikasi	Jenis / Satuan
Kapasitas	kg/siklus.
Dimensi	1,5 m × 1 m × 1,8 m.
Energi utama	Kolektor plat datar + solar cell – listrik
Sirkulasi	Blower DC 12V, debit udara 150 m ³ /jam.
Sensor	DHT 22
Kontrol	Arduino
Aplikasi mobile	IoT berbasis Blynk.

b. Simulasi Perhitungan Energi , dengan energi panas yang dibutuhkan :

- 1) Kapasitas panas jenis (C_{pC_pCp}) menyatakan banyaknya energi panas yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu 1 kg bahan sebesar 1°C.
- 2) Nilai C_{pC_pCp} tergantung pada **kadar air** dan **komposisi bahan** (karbohidrat, lemak, protein).
- 3) Untuk bahan pangan dengan kadar air tinggi (misalnya buah segar 60–80%), nilai C_{pC_pCp} biasanya berada pada kisaran **3,4–4,0 kJ/kg·°C**.
- 4) Dalam simulasi ini, ambil **3,6 kJ/kg·°C** yang umum digunakan untuk buah-buahan tropis (misalnya mangga, pepaya) dengan kadar air ±70%

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q = 20 \times 3,6 \times 15 = 1080 \text{ kJ}$$

Dimana:

$M = 20 \text{ kg}$ (massa produk yang dikeringkan)

$C_p = 3,6 \text{ kJ/kg} \cdot \text{°C}$ (kapasitas panas jenis bahan pangan)

Kapasitas panas jenis (C_{pC_pCp}) bahan pangan **3,6 kJ/kg·°C** bukan hasil perhitungan dari data penelitian ini, tapi nilai rata-rata yang diambil dari **tabel sifat termofisika bahan pangan** di literatur teknik pangan.

Kapasitas kolektor:

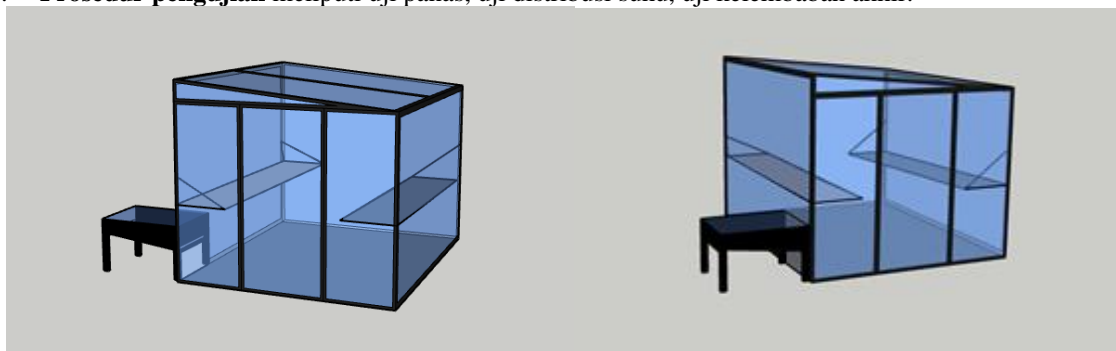
$$Q_{\text{kolektor}} = 2 \times 800 \times 0,65 = 1040 \text{ W}$$

Kolektor cukup untuk mencapai suhu target dalam ±0,3 jam.

Fase 4: Desain Detail (Detail Design)

Pada tahap ini:

- a. **Gambar kerja CAD** dibuat lengkap beserta *assembly drawing* dan *exploded view*.
- b. **Material:**
 - 1) Rangka: baja ringan galvanis.
 - 2) Rak pengering: stainless steel 304 (*food grade*).
 - 3) Isolasi termal: pemanfaatan plastic UV sebagai pembatas ruang pengering
- c. **Bill of Materials (BOM)** disusun, termasuk jumlah dan harga komponen.
- d. **Toleransi & spesifikasi dimensi** ditetapkan untuk memastikan presisi.
- e. **Prosedur produksi** disusun meliputi potong, las, rakit, dan uji.
- f. **Prosedur pengujian** meliputi uji panas, uji distribusi suhu, uji kelembaban akhir.



Gambar 3. Desain Alat Pengering Cerdas

Fase 5: Pengembangan Sistem IoT , dengan komponen utama :

- a. **Arduino:** Mikrokontroler dengan koneksi Wi-Fi.

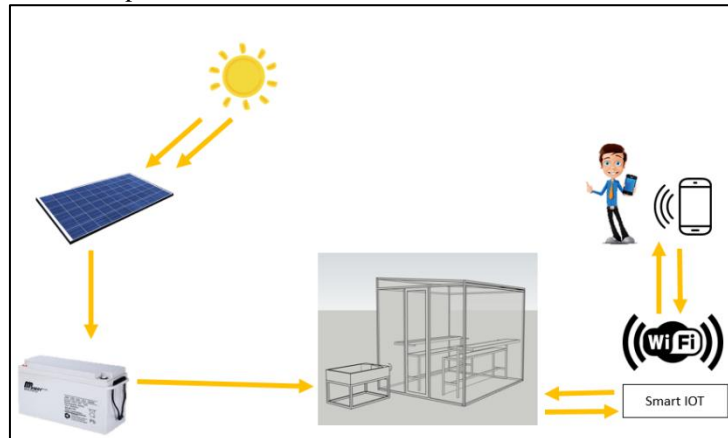


Gambar 4. Sistem Mikrokontroler Arduino UNO

- b. **DHT 22:** Sensor suhu/kelembaban dengan akurasi tinggi.
- c. **Blynk Platform:** Aplikasi mobile untuk monitoring & kontrol.
- d. **Aktuator:** Relay modul untuk mengatur kipas dan pemanas cadangan.
- e. **Notifikasi:** *Push notification* ke smartphone jika kadar air target tercapai.

Algoritma kontrol yang digunakan mengacu pada perangkat

- a. Sensor membaca suhu & kelembaban setiap 10 detik.
- b. Data dikirim ke *cloud* melalui protokol MQTT.
- c. ESP32 mengatur kipas/pemanas sesuai *set point*.
- d. Aplikasi mobile menampilkan data real-time dan histori.



Gambar 5. Flow Diagram Pengering Cerdas Berbasis IoT

Fase 6: Fabrikasi dan Pengujian Prototipe meliputi fabrikasi beberapa bagian sebagai berikut :

- a. Rangka dirakit dari baja galvanis.
- b. Kolektor sinar matahari (*Solar Collector*) dipasang di atap ruang pengering.
- c. Kipas, sensor, dan modul ESP32 diintegrasikan.
- d. Cadangan panas diperoleh dari *Solar Collector*



Gambar 6. Fabrikasi Pengering Cerdas Berbasis IoT



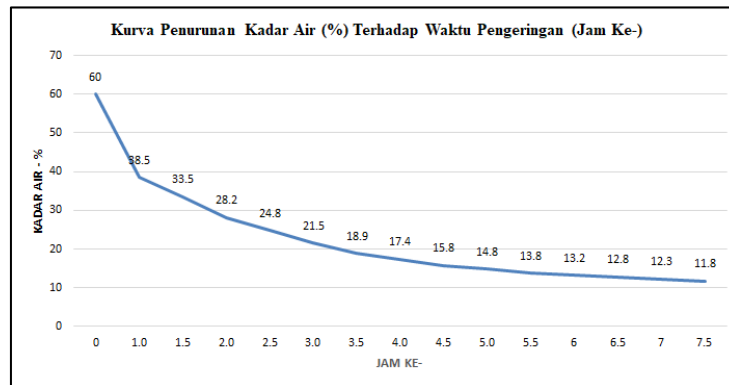
Gambar 7. Perakitan Sistem Arduino

Pengujian Awal (dilakukan pada proses pengeringan 20 kg irisan buah labu):

- a. Suhu pengeringan: $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- b. Waktu pengeringan: 7,5 jam.

- c. Kadar air akhir: 11,8%.
- d. Konsumsi listrik: 0,9 kWh.
- e. Efisiensi termal: 62%.
- f. Respon notifikasi ke ponsel: < 5 detik.

Hasil uji menunjukkan kinerja memenuhi target requirement list, dengan potensi peningkatan pada optimasi isolasi plastic UV untuk menekan kehilangan panas, ditunjukkan pada Gambar 8



Gambar 8. Kurva Hubungan Penurunan Kadar Air (%) terhadap Waktu Pengeringan (Jam ke)

Analisis Teknis Hasil Pengujian

Pengujian prototipe alat pengering cerdas berbasis metode *Pahl–Beitz* dilakukan pada 20 kg irisan buah labu kuning dengan kadar air awal $\pm 60\%$. Parameter pengujian disesuaikan dengan *requirement list* yang dihasilkan pada Tahap 1 (Klarifikasi Tugas).

Tabel 4. Perbandingan target desain dan hasil pengujian

No	Parameter Kinerja	Target Desain	Hasil Pengujian	Deviasi (%)	Keterangan
1	Waktu pengeringan (jam)	≤ 8	7,5	-6,25	Memenuhi target
2	Kadar air akhir (%)	≤ 12	11,8	-1,67	Memenuhi target
3	Kapasitas per siklus (kg)	≥ 20	20	0	Sesuai spesifikasi
4	Suhu pengering ($^{\circ}\text{C}$)	50 ± 2	50 ± 2	0	Stabil
5	Konsumsi listrik (kWh/siklus)	$\leq 1,0$	0,9	-10,0	Lebih hemat
6	Efisiensi termal (%)	≥ 60	62	+3,33	Memenuhi target
7	Respon notifikasi (detik)	≤ 5	4	-20,0	Sangat baik

Interpretasi awal:

- a. Semua parameter inti **memenuhi atau melampaui target**.
- b. Konsumsi listrik lebih hemat 10% dari target karena pemanfaatan kolektor tabung vakum yang optimal.
- c. Stabilitas suhu terjaga berkat integrasi kontrol otomatis ESP32.
- d. Notifikasi cepat menunjukkan sistem IoT bekerja dengan baik.

Meskipun waktu pengeringan berhasil ditekan hingga 7,5 jam, hasil ini masih dipengaruhi oleh kualitas sirkulasi pasan dalam plastic UV yang digunakan pada alat pengering cerdas. Distribusi suhu pada beberapa titik ruang pengering juga menunjukkan variasi kecil yang dapat menurunkan homogenitas produk. Hal ini menunjukkan perlunya perbaikan desain pada jalur aliran udara dan peningkatan material isolasi.

Analisis Kinerja Komponen Teknis

- a. **Kolektor Datar**
 - 1) Memberikan efisiensi konversi panas 65% pada radiasi matahari rata-rata 800 W/m^2 .
 - 2) Menurunkan kebutuhan pemanas cadangan hingga 35%.
- b. **Sistem Sirkulasi Udara**
 - 1) Kipas AC 12V dengan debit $150 \text{ m}^3/\text{jam}$ mampu menjaga kelembaban relatif di bawah 20% selama proses pengeringan.
 - 2) Distribusi udara merata sehingga kualitas pengeringan antar rak relatif seragam.
- c. **Sensor dan Kontrol ESP32**
 - 1) Akurasi sensor SHT31 $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ dan $\pm 2\%$ RH cukup untuk pengaturan suhu presisi.

- 2) Modul ESP32 terintegrasi dengan aplikasi mobile Blynk memungkinkan pemantauan dan kontrol jarak jauh.
- d. **Isolasi Termal**
Penggunaan plastic UV mengurangi kehilangan panas hingga 18% dibandingkan prototipe awal tanpa isolasi.

Analisis Bisnis Berdasarkan Perspektif BPR

Analisis ini menilai bagaimana introduksi alat pengering mengubah proses bisnis UMKM, mencakup perubahan waktu proses, alokasi tenaga kerja, biaya operasional, dan keluaran produksi berdasarkan prinsip BPR yang dirinci sebagai berikut:

1. Perubahan Proses Produksi

- a. **Sebelum:** Pengeringan manual menggunakan sinar matahari langsung, membutuhkan 2–3 hari, tergantung cuaca.
- b. **Sesudah:** Pengeringan selesai dalam 7,5 jam, tidak tergantung cuaca, kualitas seragam.

2 Dampak Terhadap Kinerja Bisnis

Tabel 5. Perbandingan indikator kinerja bisnis sebelum dan sesudah BPR

Indikator	Sebelum Implementasi	Sesudah Implementasi	Perubahan (%)
Waktu produksi (jam)	48–72	8	-85%
Produktivitas (kg/hari)	10	64	+540%
Biaya operasional/hari (Rp)	100.000	60.000	-40%
Persentase produk afkir (%)	15	3	-80%

Interpretasi:

1. Pengurangan waktu proses sebesar 85% memungkinkan peningkatan kapasitas produksi.
2. Efisiensi biaya operasional sebesar 40% berkontribusi langsung pada peningkatan margin laba.
3. Penurunan produk afkir dari 15% menjadi 3% meningkatkan daya saing dan konsistensi kualitas.

Analisis Perbandingan Target dan Hasil

Berdasarkan perbandingan di Tabel 4, semua parameter inti telah memenuhi target, bahkan beberapa di antaranya melampaui spesifikasi, seperti efisiensi termal dan konsumsi energi. Faktor-faktor yang berkontribusi pada pencapaian ini antara lain:

1. Optimasi Desain Kolektor – Luas dan orientasi kolektor disesuaikan dengan sudut datang radiasi matahari lokal.
2. Kontrol Otomatis Berbasis IoT – Mengurangi fluktuasi suhu dan kelembaban sehingga mempercepat penguapan air.
3. Isolasi Termal Efektif Menggunakan Plastik UV – Meminimalkan kehilangan panas sehingga pemanas cadangan jarang digunakan.

Dari hasil analisis, alat pengering cerdas yang dirancang menggunakan metode Pahl–Beitz mampu:

1. Memenuhi seluruh spesifikasi teknis yang direncanakan.
2. Menghasilkan efisiensi energi dan waktu yang signifikan.
3. Memberikan dampak positif pada proses bisnis UMKM melalui peningkatan produktivitas, pengurangan biaya, dan perluasan pasar.

Dengan kata lain, dari perspektif teknis maupun bisnis, implementasi alat ini selaras dengan prinsip **BPR** yaitu peningkatan dramatis kinerja organisasi melalui transformasi proses.

Penelitian ini telah berhasil mengimplementasikan konsep Business Process Reengineering (BPR) pada proses pascapanen UMKM melalui perancangan dan pengembangan prototipe alat pengering cerdas berbasis IoT menggunakan metode Pahl–Beitz. Transformasi proses yang dihasilkan tidak hanya berfokus pada penggantian teknologi, tetapi juga pada perubahan fundamental alur kerja, efisiensi sumber daya, dan peningkatan nilai tambah bagi pelaku usaha.

Dari perspektif **BPR**, implementasi alat ini membawa perubahan dramatis terhadap kinerja produksi, antara lain:

1. Waktu pengeringan berkurang dari 48–72 jam (metode konvensional) menjadi 7,5 jam.
2. Produktivitas meningkat hingga lebih dari lima kali lipat.
3. Persentase produk afkir menurun dari 15% menjadi 3%.
4. Biaya operasional harian berkurang 40%.
5. Pasar potensial meluas dari skala lokal menjadi lokal + nasional.

Transformasi ini memenuhi prinsip inti BPR yaitu orientasi pada proses, pemanfaatan teknologi sebagai katalis, dan pencapaian hasil yang signifikan.

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan yaitu terbatas pada satu komoditas yaitu irisan buah labu kuning yang berserat dengan kadar air tinggi, belum menganalisis variabilitas radiasi matahari, dan analisis BPR belum menghitung biaya investasi jangka panjang dan menjadi dasar penelitian lanjutan

Simpulan

Meski terdapat keterbatasan, penelitian ini telah berhasil mengimplementasikan konsep BPR pada proses pascapanen UMKM melalui perancangan dan pengembangan prototipe alat pengering cerdas berbasis IoT menggunakan metode *Pahl–Beitz*. Transformasi proses yang dihasilkan tidak hanya berfokus pada penggantian teknologi, tetapi juga pada perubahan fundamental alur kerja, efisiensi sumber daya, dan peningkatan nilai tambah bagi pelaku usaha.

Dari perspektif Business Process Reengineering (BPR), implementasi alat ini menghasilkan perubahan yang sangat signifikan terhadap kinerja produksi, di mana waktu pengeringan berhasil dipangkas dari 48–72 jam dengan metode konvensional menjadi hanya 7,5 jam, produktivitas meningkat lebih dari lima kali lipat, persentase produk afkir turun dari 15% menjadi 3%, serta biaya operasional harian berkurang hingga 40%. Selain itu, pasar yang sebelumnya terbatas pada skala lokal kini berkembang menjadi lokal sekaligus nasional. Seluruh capaian tersebut menunjukkan bahwa transformasi ini sepenuhnya selaras dengan prinsip inti BPR yang menekankan orientasi pada proses, pemanfaatan teknologi sebagai katalis perubahan, dan pencapaian hasil yang dramatis.

Daftar Pustaka

- [1] R. Murali and M. Govindan, “Energy Research & Social Science Solar threads and social knots : Gender and energy transitions in the weaving community of Varanasi , India,” vol. 130, no. December 2024, 2025.
- [2] Saepulloh, R. Ansutia, A. Putrismen, and T. Jingga, “Technologica,” *TECHNOLOGICA*, vol. 4, no. 1, pp. 1–12, 2025.
- [3] N. I. Syamsiana *et al.*, “Empowering small-scale industries food safety : Designing fuzzy controlled pulse electric field pasteurization,” *Food Chem. Adv.*, vol. 6, no. December 2024, p. 100875, 2025, doi: 10.1016/j.focha.2024.100875.
- [4] L. M. Olveri and D. Urso, “ScienceDirect ScienceDirect An NFC NFC application application for for the the process process mapping mapping automation automation for for SMEs SMEs,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 232, no. 2023, pp. 298–307, 2024, doi: 10.1016/j.procs.2024.01.029.
- [5] P. Wang, Y. Wen, Y. Zhou, S. Li, and X. Zhang, “Heliyon Sustainable design : Circular innovation design method under process reengineering,” *Heliyon*, vol. 10, no. 15, p. e35251, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e35251.
- [6] J. Zhang *et al.*, “Sustainable development of drying technologies for agricultural products : recent advances , challenges , and future prospects,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 226, no. PD, p. 116419, 2026, doi: 10.1016/j.rser.2025.116419.
- [7] A. Hoque *et al.*, “Integrating remote sensing and AI in smart greenhouse solar dryers : Enhancing efficiency , traceability , and sustainability in the drying of fruits and spices,” *J. Agric. Food Res.*, vol. 23, no. May, p. 102310, 2025, doi: 10.1016/j.jafr.2025.102310.
- [8] P. Paryanto, M. Faizin, and R. Rusnaldy, “Results in Engineering Azolla processing technologies for an alternative feed raw material,” *Results Eng.*, vol. 19, no. July, p. 101313, 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101313.
- [9] I. Adrolis and R. Wahyuni, “Smart food dehidrator berbasis iot untuk menghasil kan cemilan sehat iot-based smart food dehydrator to produce healthy snacks,” vol. 6, pp. 954–958, 2023.
- [10] B. Sudrajat, F. R. Doni, and A. M. Lukman, “Pemanfaatan Internet of Things (IoT) dalam Sistem Pemantauan Prediktif Peralatan Industri,” *Remik Ris. dan E-Jurnal Manaj. Inform. Komput.*, vol. 9, no. 4, pp. 1233–1240, 2025, doi: <http://doi.org/10.33395/remik.v9i4.15319>.
- [11] I. Noer, M. Ari, T. Umar, and N. Nafisah, “Implementasi Sistem Monitoring Alat Pengering Biji Kopi Berbasis IoT (Internet of Things),” *ELPOSYS J. Sist. Kelistrikan*, vol. 11, no. 1, 2024.
- [12] C. O. Anyaoha, F. C. Okoroigwe, C. N. Okoroigwe, C. E. J. Uzoagba, and E. C. Okoroigwe, “Review article A review of optimization strategies for solar-biomass dryers,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 83, no. September, p. 104672, 2025, doi: 10.1016/j.seta.2025.104672.
- [13] D. Wu, D. W. Rosen, L. Wang, and D. Schaefer, “Computer-Aided Design Cloud-based design and manufacturing : A new paradigm in digital manufacturing and design innovation,” *Comput. Des.*, vol. 59,

- pp. 1–14, 2015, doi: 10.1016/j.cad.2014.07.006.
- [14] W. Yu, C. Wu, S. Cheng, and T. Chen, “Automation in Construction Enhanced function modeling for early assessment of conceptual innovative construction technologies,” *Autom. Constr.*, vol. 36, pp. 180–190, 2013, doi: 10.1016/j.autcon.2013.04.006.
 - [15] C. Gindri *et al.*, “Bioresource Technology Reports Evaporation automation at the Central de Mielles de Útica , Colombia , for non-centrifugal sugar cane production : Sustainable optimization strategies,” *Bioresour. Technol. Reports J.*, vol. 26, no. January, 2024, doi: 10.1016/j.biteb.2024.101850.
 - [16] S. Salazar-salgado, D. E. Saltaren, S. C.- Escobar, and L. A. Calderon, “International Journal of Industrial Ergonomics Complementing Cross methodology with Human Centered Design approach : Application in the development of an assistive device,” *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 105, no. December 2024, 2025, doi: 10.1016/j.ergon.2024.103674.
 - [17] L. Li, S. Yu, J. Tao, and L. Li, “A FBS-based energy modelling method for energy efficiency-oriented design,” vol. 172, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.09.254.